

# Simulasi Distribusi Kecepatan Aliran Uap Melalui Turbin Ventilator Valve yang Mengenai Permukaan Pipa Kondensor dengan Penambahan *Sheet Protection* Berbentuk Chevron

M. Fajar Ramadhan dan Djatmiko Ichsani

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

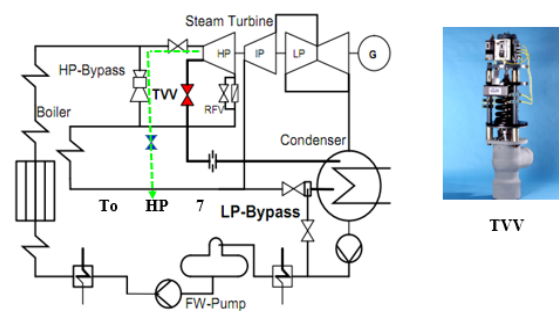
*e-mail:* djatmiko\_ichsani@me.its.ac.id

**Abstrak**—Kondensor merupakan alat penukar panas yang dapat digunakan untuk memanfaatkan atau mengambil panas dari suatu fluida untuk dipindahkan ke fluida lain. Jenis kondensor yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah *Twin Shell Single Pressure Surface Condenser*. Kondensor merupakan salah satu komponen penting dalam siklus Rankine, apabila kondensor tidak berfungsi maka suatu pembangkit listrik tidak dapat beroperasi. Penelitian dilakukan dengan menganalisis distribusi kecepatan dan temperature uap dari turbin ventilator valve menuju kondensor setelah melalui steam deflector dengan dan tanpa adanya sheet protection. Fluida kerja yang digunakan berupa uap air dengan kecepatan 1374.25 m/s yang dimodelkan sebagai fluida yang mengalir pada suatu pipa kemudian mengenai steam deflector sebelum memasuki kondensor. Studi numerik dilakukan secara 3 (tiga) dimensi dengan kondisi aliran steady dan turbulen dengan prinsip *Computational Fluid Dynamic* (CFD) menggunakan perangkat lunak GAMBIT 2.4.6 untuk tahapan pembuatan domain dan disimulasikan dalam perangkat lunak FLUENT 6.3.26. Dari hasil simulasi menggunakan FLUENT 6.3.26 bisa didapatkan karakteristik aliran berupa visualisasi aliran berupa kontur kecepatan, vector kecepatan dan distribusi kecepatan pada permukaan pipa condenser dengan variasi ketinggian sheet protection. Variasi pertama sheet protection terletak di  $y = -1$  m, kedua  $y = -1.2$  m dan yang ketiga  $y = -1.5$  m. Setelah dilakukan simulasi didapatkan kecepatan yang paling tinggi pada permukaan pipa condenser berturut-turut 11 m/s, 12 m/s dan 14.5 m/s. Dengan kecepatan yang sudah didapat dari simulasi kemudian dilakukan analisis fatigue terhadap ketiga kondisi penelitian. Setelah dilakukan analisis fatigue dengan penambahan sheet protection pada condenser, tube condenser tidak mengalami kerusakan dikarenakan tegangan yang terjadi berada di bawah kurva fatigue limit.

**Kata Kunci**—condenser, steam deflector, sheet protection, software fluent

## I. PENDAHULUAN

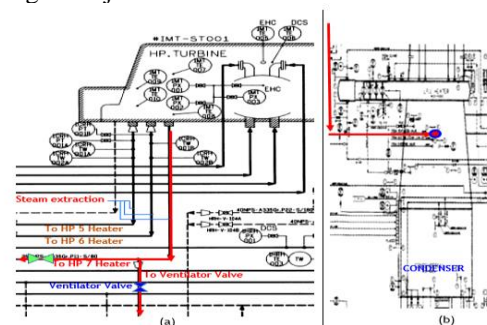
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) ini berbahan bakar batu bara yang di kirim melalui laut dengan bahan batu bara yang berasal dari Kalimantan.



Gambar 1. Posisi Turbin Ventilator Valve (TVV) pada system power plant

Posisi Turbine Ventilator Valve (TVV) pada system power plant secara schematic ditunjukkan pada Gambar 1.1. TVV adalah spring opened, air closed, poppet type valve. Fungsi utamanya adalah untuk menyediakan pendinginan selama turbine trip. TVV dikontrol oleh aktuatur yang bekerja dengan udara bertekanan melalui solenoid valve dan digerakan oleh load reference.

Ketika terjadi turbine trip, bagian HP Turbine akan overheat akibat dari windtage losses. Untuk mencegah hal tersebut, ventilator valve dipasang pada HP Turbine dan dikoneksikan sedemikian rupa sehingga dapat menarik uap dari sisi down-stream untuk dialirkan langsung menuju ke kondensor.



Gambar 2. Skema TVV pada P&I Diagram: (a) Pipa Extraction dari HP Turbine menuju ke TVV; (b) Pipa dari TVV menuju ke Kondensor

Uap air yang menuju ke TVV berasal dari pipa steam extraction pada HP Turbine seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.2 (a). Pada kondisi operasi normal, TVV pada kondisi *closed*, dan steam extraction dari HP Turbine menuju ke HP 7 Heater berfungsi untuk memanasi feed

water heater. TVV pada kondisi *opened*, hanya terjadi bila turbin trip atau pada kondisi start-up.

Steam extracted melewati TVV mengalir melalui pipa dan masuk ke dalam kondenser seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 (b). Di dalam kondenser uap dikondensasikan untuk disirkulasikan kembali sebagai feed water boiler.

Kerusakan pipa kondensor pada PLTU disebabkan oleh uap yang masuk ke dalam *condenser* dari *turbine ventilator valve* (TVV) memiliki kecepatan sebesar 1374,25 m/s, sehingga ketika *valve* dalam keadaan terbuka uap bertekanan tinggi akan menghantam pipa kondensor yang akan menyebabkan pipa rusak. Maka dari itu untuk mengantisipasi kerusakan pipa kondensor yang disebabkan oleh uap berkecepatan tinggi yang masuk ke dalam kondenser dibutuhkan suatu pelindung berupa sheet protection agar uap berkecepatan tinggi tersebut tidak langsung menghantam permukaan pipa kondensor. Selain itu diperlukan pula analisis mengenai bagaimana distribusi kecepatan uap ketika mengenai permukaan pipa kondensor, distribusi temperatur permukaan pipa kondensor, distribusi kecepatan uap setelah dipasang sheet protection dan jarak optimim penempatan sheet protection terhadap pipa kondensor. Proses analisis fluida dilakukan menggunakan *software* fluent.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Pemodelan dan Simulasi

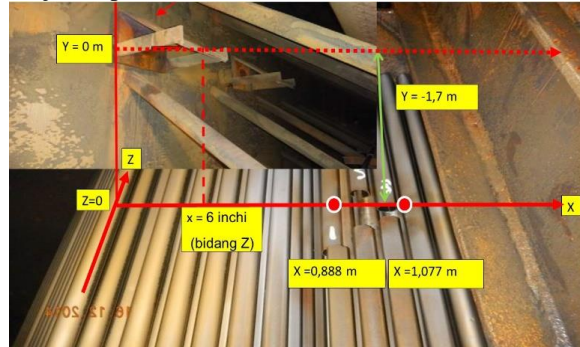
Pada penelitian ini akan dibandingkan hasil simulasi numerik pada *twin shell single pressure surface condenser* dengan melakukan variasi geometri *sheet protection*. Simulasi numerik adalah sebuah proses simulasi berbasis perhitungan yang dilakukan oleh sebuah perangkat lunak komputer dengan mendefinisikan parameter-parameter yang sesuai dengan boundary conditions, lalu dilanjutkan dengan proses iterasi atau pengulangan sampai tercapainya konvergensi untuk mendapatkan nilai pendekatan yang signifikan. Pada proses numerik terbagi menjadi 3 tahapan, yakni Pre-Processing, Processing, dan Post Processing

Pre-processing adalah proses awal dari suatu simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD). Pada proses ini dilakukan pembuatan geometri dan menentukan domain dari control volume yang akan disimulasikan. Proses Pre-Processing seluruhnya dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GAMBIT 2.4.6.

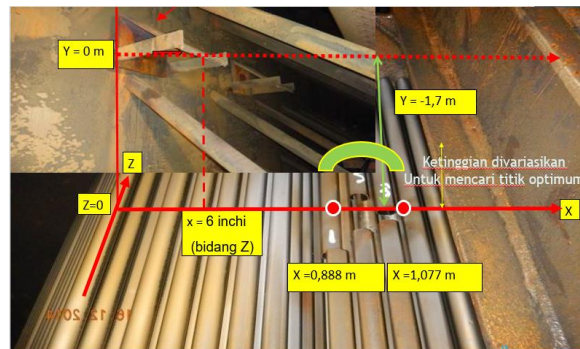
Control volume dibuat untuk mensimplifikasi permasalahan dalam melakukan simulasi. Pemodelan dimulai dari tube ventilator sampai ke kondensor hingga aliran menabrak deflector. Kecepatan awal telah diketahui dari data PT.TJB Power Service Jepara Jawa Tengah. Temperatur di dalam tube diasumsikan sama disetiap panjang tube sehingga dapat menggunakan data CCR dari PT. TJB Power Service Jepara Jawa Tengah.

Distribusi kecepatan uap ke arah bawah setelah menabrak steam deflector akan dihitung dalam arah 3 dimensi (3D). Untuk memudahkan pendiskripsian distribusi kecepatan dipilih sumbu referensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Koordinat (0,0,0) dipilih merupakan perpotongan garis lurus (sumbu Y) yang ditarik kebawah dari pojok ujung sisi kiri deflector yang menempel pada bagian dinding sampai ke permukaan tumpukan pipa. Sumbu X adalah arah melintang terhadap

tumpukan pipa kondensor. Sedangkan sumbu Z adalah searah dengan panjang pipa kondensor. Sistem koordinat ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3. Sistem Koordinat Tanpa Penambahan Sheet Protection

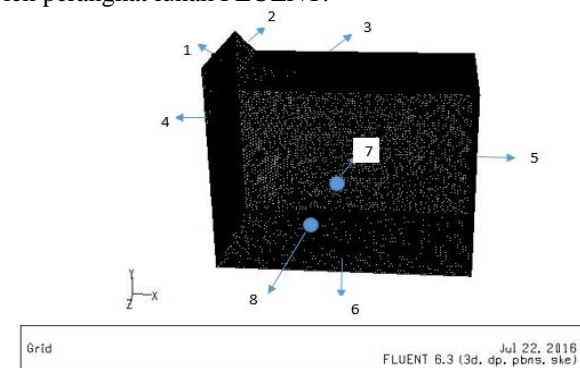


Gambar 4. Sistem Koordinat dengan Penambahan Sheet Protection

Steam deflector berbentuk empat persegi panjang dengan panjang sisinya adalah 12 in menempel pada dinding kondensor dengan sudut 45° ke arah bawah.  $Z = 6$  in berada pada sumbu bidang miring deflector. Permukaan tumpukan pipa kondensor paling atas berada pada jarak ketinggian  $Y = -1,7$  m dari ujung sisi bawah deflector. Lokasi pipa bocor berada pada jarak  $x$  antara 0,888 s/d 1,077 m,  $Y = 1,7$  m dari ujung sisi bawah deflector, dan  $Z = 6$  in = 0,15 m dari sisi pojok kiri deflector. Pada daerah ini akan dianalisa bagaimana bentuk distribusi kecepatannya dalam arah  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ .

Pembuatan *meshing* dilakukan berdasarkan dari geometri kontrol volume dimana ada aliran fluida didalamnya. *Mesh* yang digunakan adalah jenis *Hexahedron-pave*. Fenomena dan karakteristik aliran yang akan dianalisa adalah aliran pada *control volume* yang melewati *deflector* dari *ventilator tube*.

Setelah pembuatan geometri dan proses *meshing*, dilakukan proses penentuan *boundary conditions*. Kondisi batas yang ditentukan untuk permodelan diinformasikan pada Tabel 1. Setelah dilakukan proses penentuan *conditions*, geometri model disimpan dan diekspor dalam bentuk *file* (\*.msh) agar dapat dibaca oleh perangkat lunak FLUENT.

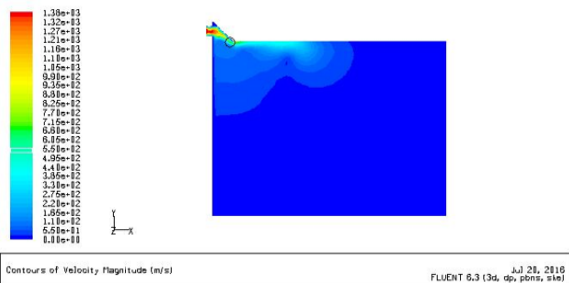


Gambar 5. Boundary Condition

**TABEL 1.** SETELAH DILAKUKAN PROSES PENENTUAN *CONDITIONS*

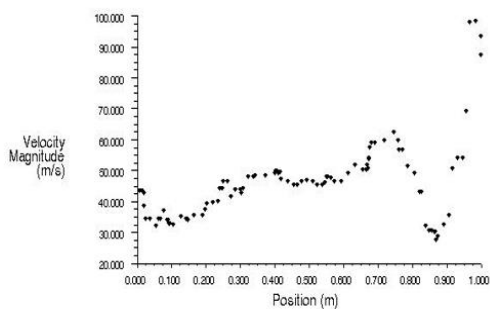
No.	Boundary Condition	Keterangan
1.	Inlet	Tipe : Velocity Inlet Kecepatan : 1374.25 m/s Temperatur : 698 K
2-6	Condenser Wall	Tipe : Stationary Wall
7-8	Outflow	Tipe : Outflow

**B. Hasil dari Simulasi Awal**



**Gambar 6.** Pathline Uap Setelah Mengenai Steam Deflector

Gambar 6 di atas menunjukkan bahwa steam menabrak steam deflector pada kisaran kecepatan sebesar kecepatan masukan. Aliran kemudian terarah ke depan mengikuti sudut kemiringan penahan dengan kecepatan yang menurun yaitu pada kisaran 550 m/s. Hal ini disebabkan tumbukan yang mana sebagian besar momentum menjadi tekanan total ketika menabrak steam deflector. Adapun sebagian steam dipancarkan ke bawah dan kemudian akan mengenai tube dengan kecepatan yang sudah jauh menurun sebagai berikut.

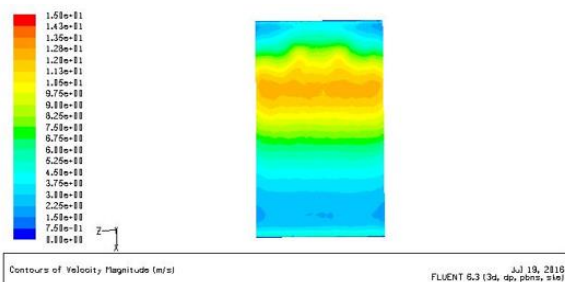


**Gambar 7.** Distribusi Kecepatan pada Permukaan Pipa Kondensor ( $y = -1.7$  m dan  $z = 0$ )

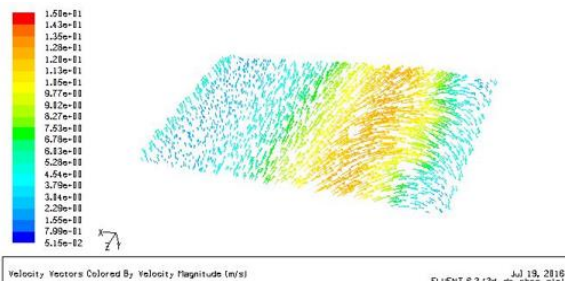
**III. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi numerik tentang pengaruh distribusi kecepatan fluida (uap) ketika mengenai permukaan pipa kondensor dengan penambahan sheet protection dan tanpa penambahan sheet protection. Simulasi numerik telah dilakukan dengan menggunakan software FLUENT 6.3.26 dan pembuatan geometri dan domain permodelan menggunakan software GAMBIT 2.4.6. Pengolahan data hasil simulasi CFD ditampilkan dalam bentuk kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif akan disajikan dalam bentuk grafik dan tabel, sedangkan data kualitatif akan disajikan dalam bentuk kontur distribusi kecepatan dan vektor kecepatan.

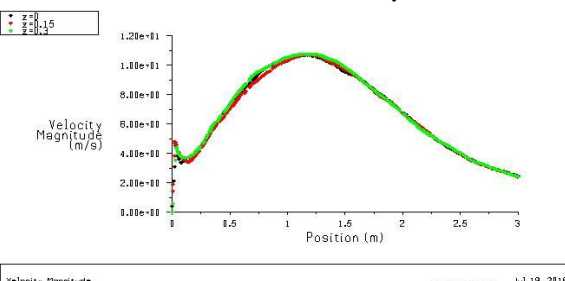
**A. Analisis Visualisasi Kontur dan Vektor Kecepatan serta Distribusi Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada  $y = -1$  m**



**Gambar 8.** Kontur Kecepatan pada Permukaan Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection di  $y = -1$  m



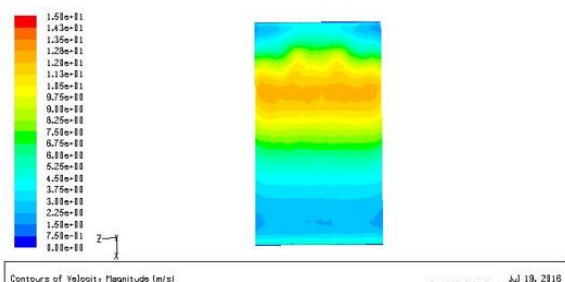
**Gambar 9.** Vektor Kecepatan pada Permukaan Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection di  $y = -1$  m



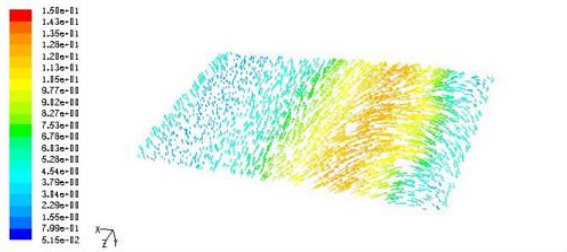
**Gambar 10.** Distribusi Kecepatan pada Permukaan Pipa Kondensor di  $z = 0$  m,  $z = 0.15$  m dan  $z = 0.3$  m dengan Penambahan Sheet Protection di  $y = -1$  m

Gambar 10 menunjukkan distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada Sheet Protection  $y = -1$  m di  $z = 0$  m,  $z = 0.15$  m dan  $z = 0.3$  m. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa distribusi kecepatan uap meningkat dari  $x = 0$  m dengan kecepatan sekitar 4.5 m/s dan mencapai puncak di  $x = 1.1$  m dengan kecepatan sekitar 10.8 m/s kemudian menurun sampai  $x = 3$  m dengan kecepatan sekitar 2.5 m/s.

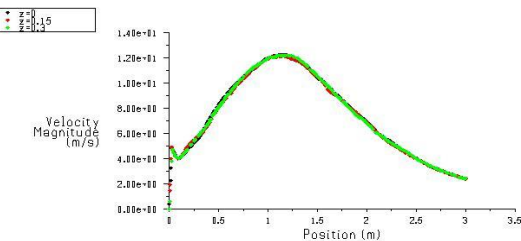
**B. Analisis Visualisasi Kontur dan Vektor Kecepatan serta Distribusi Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada  $y = -1.2$  m**



**Gambar 11.** Kontur Kecepatan pada Permukaan Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection di  $y = -1.2$  m



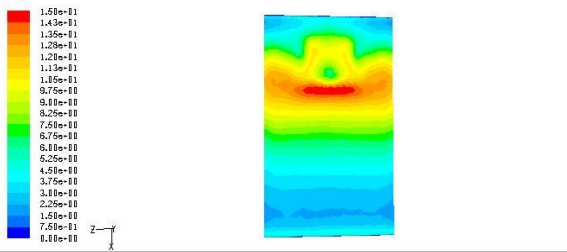
Gambar 12. Vektor Kecepatan pada Permukaan Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection di  $y = -1.2$  m



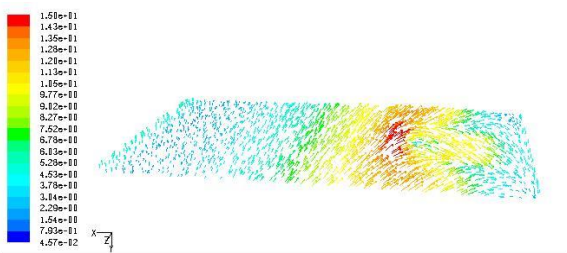
Gambar 13. Distribusi Kecepatan pada Permukaan Pipa Kondensor di  $z = 0$  m,  $z = 0.15$  m dan  $z = 0.3$  m dengan Penambahan Sheet Protection di  $y = -1.2$  m

Gambar 13 menunjukkan distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada Sheet Protection  $y = -1$  m di  $z = 0$  m,  $z = 0.15$  m dan  $z = 0.3$  m. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa distribusi kecepatan uap meningkat dari  $x = 0$  m dengan kecepatan sekitar 5 m/s dan mencapai puncak di  $x = 1.1$  m dengan kecepatan sekitar 12.5 m/s kemudian menurun sampai  $x = 3$  m dengan kecepatan sekitar 2.5 m/s.

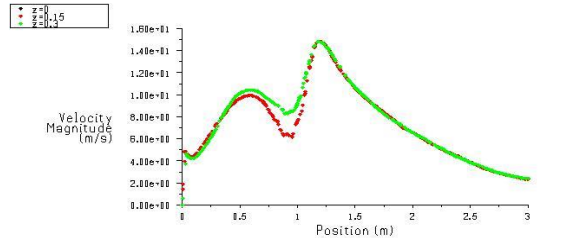
C. Analisis Visualisasi Kontur dan Vektor Kecepatan serta Distribusi Kecepatan Uap Ketika Mengenai Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection pada  $y = -1.5$  m



Gambar 14. Kontur Kecepatan pada Permukaan Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection di  $y = -1.5$  m



Gambar 15. Vektor Kecepatan pada Permukaan Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection di  $y = -1.5$  m



Gambar 16. Distribusi Kecepatan pada Permukaan Pipa Kondensor di  $z = 0$  m,  $z = 0.15$  m dan  $z = 0.3$  m dengan Penambahan Sheet Protection di  $y = -1.5$  m

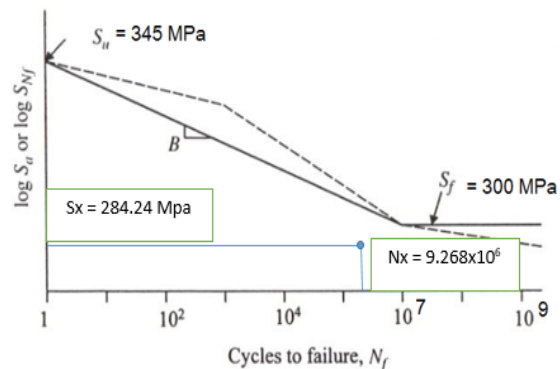
Gambar 16 menunjukkan distribusi kecepatan pada permukaan tube paling atas pada Sheet Protection  $y = -1$  m di  $z = 0$  m,  $z = 0.15$  m dan  $z = 0.3$  m. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa distribusi kecepatan uap meningkat dari  $x = 0$  m dengan kecepatan sekitar 5 m/s dan mencapai puncak pertama di  $x = 0.6$  m dengan kecepatan sekitar 10 m/s kemudian menurun sampai  $x = 0.9$  m dengan kecepatan sekitar 8 m/s. Kemudian distribusi kecepatan uap kembali meningkat sampai  $x = 1.25$  m dengan kecepatan 15 m/s dan menurun sampai dengan  $x = 3$  dengan kecepatan 2 m/s.

D. Analisis Siklus dan Tegangan Aktual yang Terjadi pada Permukaan Pipa Kondensor dengan Penambahan Sheet Protection

Fatigue adalah kerusakan yang terjadi akibat beban yang berulang-ulang. Fatigue digambarkan dalam kurva S-N dimana sumbu absis menyatakan jumlah dalam cycles dan sumbu ordinat menyatakan tegangan.

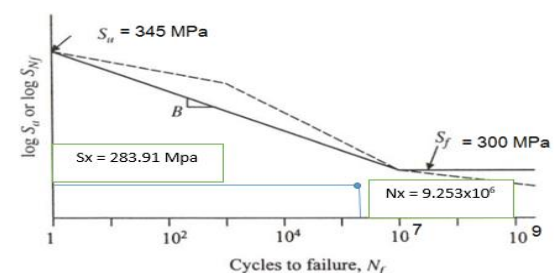
TABEL 1. PERHITUNGAN SIKLUS DAN TEGANGAN AKTUAL

Kondisi	$V_0$ (m/s)	$V$ (m/s)	$t_1$ (s)	$t_2$ (s)	$T_x$ (s)	$N_x$ (siklus)	$S_x$ (MPa)
Dengan Sheet $y = -1$ m	565.23	11	0.0059	0.00613	56814	9268189.233	284.2416
Dengan Sheet $y = -1.2$ m	565.23	12	0.00589	0.00614	56814	9253094.463	283.9128
Dengan Sheet $y = -1.5$ m	565.23	14.5	0.005864	0.006172	56814	9205119.896	282.8669



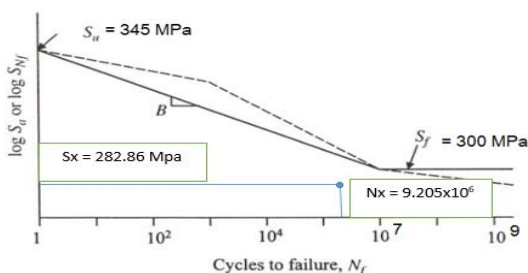
Gambar 17. S-N Diagram dengan Sheet Protection di  $y = -1$  m

Dari gambar 17 dapat dilihat bahwa dengan  $S_x$  sebesar 284.24 MPa dan jumlah siklus sebesar  $9.268 \times 10^6$  maka material berada di dalam kurva fatigue yang diijinkan sehingga pipa tidak mengalami kerusakan.



Gambar 18. S-N Diagram dengan Sheet Protection di  $y = -1.2$  m

Dari gambar 18 dapat dilihat bahwa dengan  $S_x$  sebesar 283.91 MPa dan jumlah siklus sebesar  $9.253 \times 10^6$  maka material berada di dalam kurva fatigue yang diijinkan sehingga pipa tidak mengalami kerusakan.



Gambar 19. S-N Diagram dengan Sheet Protection di  $y = -1.5$  m

Dari gambar 19 dapat dilihat bahwa dengan  $S_x$  sebesar 282.86 MPa dan jumlah siklus sebesar  $9.205 \times 10^6$  maka material berada di dalam kurva fatigue yang diijinkan sehingga pipa tidak mengalami kerusakan.

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan pembahasan tentang simulasi distribusi kecepatan aliran uap melalui turbin ventilator valve yang mengenai permukaan pipa kondensor dengan penambahan sheet protection pada ketinggian  $y = -1$  m,  $y = -1.2$  m dan  $y = -1.5$  m yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya maka didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Kecepatan uap masuk ke condenser dan menabrak deflector dengan kecepatan sebesar 1374.25 m/s dan kualitas campuran uap sebesar 88%. Setelah disimulasikan kecepatan uap pada saat menabrak permukaan pipa condenser tanpa penambahan sheet protection sebesar 130 m/s.
2. Dari proses simulasi menggunakan Fluent didapatkan kecepatan uap maksimum menabrak pipa pada posisi  $x = 0.8$  m sampai dengan  $x = 1.07$  m dengan variasi penempatan ketinggian sheet protection  $y = -1$  m,  $y = -1.2$  m dan  $y = -1.5$  m secara berturut-turut adalah sebesar 11 m/s, 12 m/s dan 14.5 m/s.

3. Berdasarkan analisis kekuatan material, tegangan yang diperbolehkan untuk beban periodik  $1.14 \times 10^7$  siklus sebesar 300 MPa. Sedangkan tegangan actual yang terjadi didapatkan dari perhitungan sebesar 323 MPa, karena tegangan actual yang terjadi lebih besar dari tegangan yang diperbolehkan maka pipa mengalami kerusakan.
4. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada pipa condenser maka perlu dipasang sheet protection yang diletakkan diatas pipa. Dengan kecepatan uap menabrak pipa pada posisi  $x = 0.8$  m sampai dengan  $x = 1.07$  m sudah didapatkan pada poin 2, maka tegangan yang terjadi berturut-turut sebesar 284.2416 MPa untuk  $y = -1$  m, 283.9128 MPa untuk  $y = -1.2$  m dan 282.2669 MPa untuk  $y = -1.5$  m. Ketiga tegangan yang terjadi nilainya masih lebih kecil dari tegangan yang diijinkan sehingga pipa condenser tidak mengalami kerusakan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah memberikan dukungannya terhadap penelitian ini

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fox, Robert W., Pritchard, P.J. dan McDonald, Alan T. 2010. Introduction to Fluid Mechanics (7th Edition). Asia: John Wiley & Sons.
- [2] Incropera, Frank P., De Witt, David P. (2002). Fundamental of Heat and Mass Transfer. New York: John Wiley & Sons Inc.B.
- [3] Kitto, J.B. dan S.C. Stultz. 2005. Steam Its Generation an Use. Amerika: The Babcock & Wilcox Company.
- [4] Sinha, Ashwini K. (2010). Aspects of Failure of Condenser tubes and their Remedial Measures at Powerplants India: NETRA.
- [5] Sinha, Ashwini K. (2010). Aspects of Failure of Condenser tubes and their Remedial Measures at Powerplants India: NETRA.